

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

## **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
Please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

Rec'd PCT/PTO 01 MAR 2002

**SENSOR USING LIGHT**

Patent Number: JP7191061  
Publication date: 1995-07-28  
Inventor(s): NIWA KEIKO; others: 01  
Applicant(s):: TOSHIBA CORP  
Requested Patent: ☐ JP7191061  
Application Number: JP19930333196 19931227  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01R15/24 ; G01R33/032 ; G02F1/09  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To provide a highly accurate sensor using light and having a wide dynamic range.  
**CONSTITUTION:** Light from an SLD (superluminescent diode) 1a is passed through a linear polarizer 3a and divided into two parts by means of a coupler 4a. One part of the light makes Farady rotation through a fiber 11 wound around a conductor 12 after the part is modulated to a saw tooth waveform by means of a phase modulator 6a and circularly polarized through a lambda/4-wave plate 8a. The part is returned to the coupler 4A after linearly polarized again through a lambda/4-plate 7a and modulated in waveform by the modulator 5a. The other part of the light is returned to the coupler 4a in the reverse direction. The light re-coupled at the coupler 4a is sent to a detector 13. A signal processor 14 changes the frequency of the saw tooth wave by controlling the drive of the modulator 6a and measures the value of an electric current to be measured based on the frequency.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

US (特)  
送付

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7 - 1 9 1 0 6 1

(43) 公開日 平成 7 年 (1 9 9 5) 7 月 2 8 日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G01R 15/24				
33/032		8203-2G		
G02F 1/09	505			
			G01R 15/07	B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平 5 - 3 3 3 1 9 6  
(22) 出願日 平成 5 年 (1 9 9 3) . 1 2 月 2 7 日

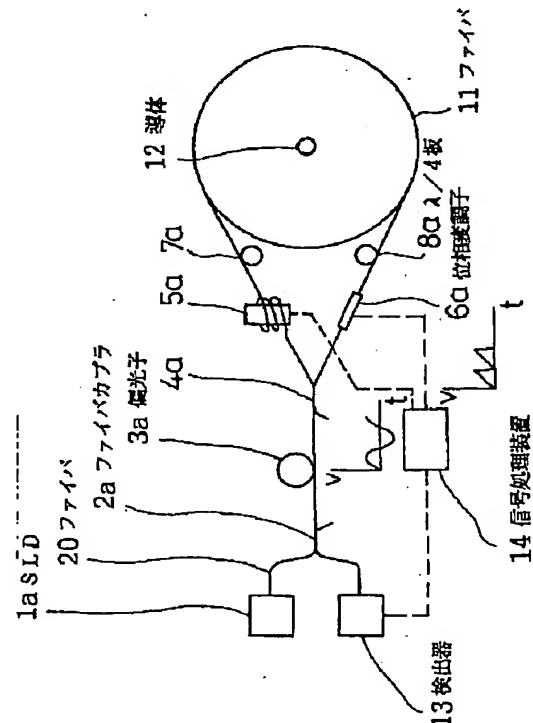
(71) 出願人 0 0 0 0 0 3 0 7 8  
株式会社東芝  
神奈川県川崎市幸区堀川町 7 2 番地  
(72) 発明者 丹羽 景子  
神奈川県川崎市川崎区浮島町 2 番 1 号 株  
式会社東芝浜川崎工場内  
(72) 発明者 寺井 清寿  
神奈川県川崎市川崎区浮島町 2 番 1 号 株  
式会社東芝浜川崎工場内  
(74) 代理人 弁理士 木内 光春

(54) 【発明の名称】 光応用センサ

(57) 【要約】

【目的】 高精度で広いダイナミックレンジを有する光  
応用センサを提供する。

【構成】 SLD 1 a からの光は、偏光子 3 a で直線偏  
光にされた後、ファイバカプラ 4 a で 2 分割される。一  
方の分割光は、位相変調子 6 a によって鋸波形の変調を  
受け、 $\lambda/4$  板 8 a によって円偏光にされた後、導体 1  
2 に巻き付けられたファイバ 1 1 を通ってファラデー回  
転する。この光はさらに、 $\lambda/4$  板 7 a によって直線偏  
光にされ、位相変調子 5 a によって波形の変調を受けた  
後、ファイバカプラ 4 a に再び入射する。他方の分割光  
は、逆回りでファイバカプラ 4 a に再び入射する。ファ  
イバカプラ 4 a で再結合した光は検出器 1 3 に入射す  
る。信号処理装置 1 4 により、位相変調子 6 a を駆動制  
御して鋸波形の周波数を変化させ、この周波数に基づい  
て被測定電流値を計測する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被測定磁界または被測定電流によって誘起される磁界の影響を受ける位置に配置されたファラデー素子と、光源と、光源から発せられた光を 2 つに分離し、分離した光を前記ファラデー素子にそれぞれ結合する分離手段と、ファラデー素子から出射した 2 つの光を再結合する結合手段と、結合した光を検出して光電変換する検出手段とを備えた光学装置と、前記検出手段によって得られた電気信号を処理して前記 2 つの光の位相差を検出し、この位相差から磁界または電流を測定する信号処理装置とを有する、干渉型の光応用センサにおいて、

前記光学装置が、通過する光に鋸波形の変調をかける位相変調手段をさらに備え、この位相変調手段が前記分離手段によって分岐形成された 2 つの光路の少なくとも一方に挿入され、

前記信号処理装置として、前記位相変調手段を駆動制御する駆動制御装置を兼ねたゼロダイン方式による信号処理装置を使用することを特徴とする光応用センサ。

【請求項 2】 前記光学装置が、ファイバ素子とマイクロ-optics で構成されることを特徴とする請求項 1 記載の光応用センサ。

【請求項 3】 前記光学装置のうちの少なくとも前記分離手段と前記結合手段を含む光学的制御部分が、光集積回路上に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の光応用センサ。

【請求項 4】 前記光源として、スペクトル幅（半値全幅）が 0.5 nm ~ 100 nm の低干渉光源を使用することを特徴とする請求項 1 記載の光応用センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁界中のファラデー素子内を伝播する 2 つの円偏光の位相のずれを利用して、磁界強度または電流強度を検出する、光応用センサに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光応用センサは、被測定磁界または被測定電流が誘起する磁界において生じるファラデー効果を利用して、ファラデー素子内を伝播する 2 つの光波間の位相差から磁界強度または電流強度を測定するものである。

【0003】図 6 に、従来の干渉型の光応用センサの一例を示す。この光応用センサは、ファラデー素子としてファイバを用いて、導体に流れる電流を測定するセンサであり、次のように構成されている。すなわち、この光応用センサは、まず、順に配置された光源 1、ビームスプリッタ 2、偏光子 3、およびビームスプリッタ 4 を有する。そして、ビームスプリッタ 4 の光源 1 と反対側には、位相変調子 5、6、 $\lambda/4$  板 7、8、レンズ 9、10、およびファイバ 11 からなるループ状の光路が形成

されており、ファイバ 11 は、被測定電流が流れる導体 12 に巻き付けられている。

【0004】より詳細には、ビームスプリッタ 4 からの反射側の光路上には、位相変調子 5、 $\lambda/4$  板 7、およびレンズ 9 が順次配置されており、ファイバ 11 の一端に光を入射するとともに、ファイバ 11 からの光を逆方向に伝播するように構成されている。また、ビームスプリッタ 4 からの透過側の光路上には、位相変調子 6、 $\lambda/4$  板 8、およびレンズ 10 が順次配置されており、ファイバ 11 の他端に光を入射するとともに、ファイバ 11 からの光を逆方向に伝播するように構成されている。さらに、光源 1 側のビームスプリッタ 2 の反射側の光路上には、検出器 13 が配置されている。

【0005】このように構成された図 6 の光応用センサにおいて、導体 12 に流れる被測定電流を検出する際には、次のような動作が行われる。まず、光源 1 から光が発せられると、この光は、ビームスプリッタ 2 を透過し、偏光子 3 で直線偏光に変換された後、ビームスプリッタ 4 で 2 分割される。

【0006】ビームスプリッタ 4 からの 2 つの分割光のうち、反射光は、位相変調子 5 によって波形の変調を受け、 $\lambda/4$  板 7 によって円偏光に変換された後、レンズ 9 で集光され、被測定電流の流れる導体 12 に巻き付けられたファイバ 11 の一端に入射する。この光は、ファイバ 11 を通って被測定電流が誘起する磁界強度に応じてファラデー回転した後、ファイバ 11 の他端から出射する。ファイバ 11 から出射した光は、レンズ 10 を通り、 $\lambda/4$  板 8 によって再び直線偏光に変換された後、位相変調子 6 によって波形の変調を受け、ビームスプリッタ 4 に再び入射する。

【0007】一方、ビームスプリッタ 4 からの 2 つの分割光のうち、透過光は、ループ状の光路を前述した反射光と逆回りで通過する。すなわち、位相変調子 6、 $\lambda/4$  板 8、レンズ 10、ファイバ 11、レンズ 9、 $\lambda/4$  板 7、位相変調子 5、という順序で通過し、ビームスプリッタ 4 に再び入射する。

【0008】そして、以上のように、同一のループ状の光路を互いに逆方向に通過した 2 つの光は、ビームスプリッタ 4 において、再結合する。そして、このように結合した光は、偏光子 3 を通り、ビームスプリッタ 2 で反射した後、検出器 13 で検出され、光電変換される。検出器 13 からの電気信号に基づき、図示していない信号処理装置により、2 つの光波間の位相差が検出され、この位相差から電流強度が測定される。

【0009】この光応用センサでは、特に、位相変調子 5、6 で波形を変調することにより、余弦曲線を示す干渉光出力を正弦曲線に変換している。これにより、特に高い感度が必要な、電流の小さい部分における感度が向上されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、以上のような従来の干渉型の光応用センサにおいては、次のような問題点がある。すなわち、以上のように、位相変調子によって余弦曲線を示す干渉光出力を正弦曲線に変換して出力信号を得るように構成した場合には、出力信号の正弦曲線のうちの90度を越えない領域しか利用できない。このため、フルスケールが限定され、高精度を保つためにはダイナミックレンジを広くとれないという問題点がある。

【0011】また、以上のような従来の干渉型の光応用センサにおいては、光学素子間において光が空間伝送されることになるため、空間中の塵埃などの異物がこの空間中の光路を横切ったり光学素子に付着することにより、短期的あるいは長期的な出力変動が生じる可能性がある。また、温度変化や振動により光学素子間での相対的位置ずれが生じ、その結果光路がずれることによって出力変動が生じる可能性もある。そして、このような出力変動によって測定誤差が大きくなり、センサの測定精度が低下してしまう。

【0012】一方、以上のような従来の干渉型の光応用センサにおいては、検出する2光波の光路差を大きくする必要があるため、光源の高干渉性や単色性が必要とされる。しかしながら、このような高干渉性や単色性の光源を使用した場合には、光強度によるファラデー素子内のカー効果と、後方レイリー散乱、光学系からの戻り光の影響などによりノイズを生じ、それによってセンサの測定精度が低下するという問題点が生じる。すなわち、カー効果の影響は、逆回転光の伝播強度のアンバランスによって生じ、出力の変動をもたらす。また、後方レイリー散乱光は信号光と干渉して出力変動をもたらす、光学系からの戻り光はさらに光源の出力および周波数の不安定化をもたらす。そして、これらの出力変動や不安定化によって測定誤差が大きくなり、センサの測定精度が低下してしまうのである。

【0013】本発明は、以上のような従来技術の問題点を解決するために提案されたものであり、その第1の目的は、高精度で広いダイナミックレンジを有する光応用センサを提供することである。また、第2の目的は、空間中の異物の影響や、温度変化、振動による光学素子間の光路ずれなどの影響を低減可能な、高精度の光応用センサを提供することである。さらに、第3の目的は、カー効果や後方レイリー散乱、および光学系からの戻り光の影響を低減可能な、高精度の光応用センサを提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の光応用センサは、基本的に、次のような光学装置と信号処理装置とを有する干渉型の光応用センサである。すなわち、まず、光学装置は、被測定磁界または被測定電流によって誘起される磁界の影響を受ける位置に配置されたファラデー

素子と、光源と、光源から発せられた光を2つに分離し、分離した光をファラデー素子にそれぞれ結合する分離手段と、ファラデー素子から出射した2つの光を再結合する結合手段と、結合した光を検出して光電変換する検出手段とを備える。また、信号処理装置は、前記検出手段によって得られた電気信号を処理して2つの光の位相差を検出し、この位相差から磁界または電流を測定するように構成される。そして、本発明の光応用センサは、このような基本的な構成に加えて、さらに次のような特徴を有するものである。

【0015】請求項1に記載の光応用センサは、光学装置が、通過する光に鋸波形の変調をかける位相変調手段をさらに備え、この位相変調手段が分離手段によって分岐形成された2つの光路の少なくとも一方に挿入されるとともに、信号処理装置として、位相変調手段を駆動制御する駆動制御装置を兼ねたゼロサイン方式による信号処理装置を使用することを特徴としている。

【0016】請求項2に記載の光応用センサは、請求項1の構成に加え、光学装置がファイバ素子とマイクロオプティクスで構成されることを特徴としている。

【0017】請求項3に記載の光応用センサは、請求項1の構成に加え、光学装置のうちの少なくとも分離手段と結合手段を含む光学的制御部分が光集積回路上に形成されていることを特徴としている。

【0018】請求項4に記載の光応用センサは、請求項1の構成に加え、光源として、スペクトル幅（半値全幅）が0.5nm～100nmの低干渉光源を使用することを特徴としている。

【0019】なお、本発明の光応用センサにおいて、ファラデー素子としては、例えば、被測定電流の流れる導体に少なくとも1回以上巻き付けられたファイバを使用することが可能である。また、一般的に、光源とファラデー素子との間には、光源から発せられた光を円偏光または楕円偏光に変換する偏光手段が挿入される。

【0020】

【作用】以上のような構成を有する本発明の光応用センサにおいては、次のような作用が得られる。

【0021】請求項1の光応用センサにおいては、信号処理装置によって位相変調手段を駆動制御し、鋸波形の変調をかけ、ゼロサイン方式の信号処理を行うことによって出力信号を得ることができるため、余弦曲線を示す干渉光出力を正弦曲線に変換して出力信号を得る場合のように、出力信号のうちの利用可能な信号範囲が限定されることはなく、広い範囲にわたって利用可能な出力信号を得ることができる。加えて、この光応用センサの干渉系においては、検出する2光波の光路差を非常に小さくできるため、光源の高干渉性や単色性が必要とされなくなるという作用も得られる。

【0022】請求項2の光応用センサにおいては、請求項1の光応用センサの作用に加え、光学装置を一体化

10

20

30

40

50

し、光の空間伝送部分を低減することができるため、塵埃などの異物が光路を横切ったり光学素子に付着することによる短期的あるいは長期的な出力変動が起こり難くなる。また、このような光学装置の一体化により、光学素子間での相対的位置ずれが起こり難くなるため、温度変化や振動に起因する光路のずれによる出力変動が起こり難くなる。

【0023】請求項3の光応用センサにおいては、請求項1の光応用センサの作用に加え、光学装置のうちの少なくとも分離手段と結合手段を含む光学的制御部分を光集積回路上で一体化し、光の空間伝送部分を低減することができるため、塵埃などの異物が光路を横切ったり光学素子に付着することによる短期的あるいは長期的な出力変動が起こり難くなる。また、このような光学装置の一体化により、光学素子間での相対的位置ずれが起こり難くなるため、温度変化や振動に起因する光路のずれによる出力変動が起こり難くなる。加えて、光学素子がファイバ型に限定されることがないため、高精度の光学素子を自由に使用可能であるという作用も得られる。

【0024】請求項4の光応用センサは、請求項1の光応用センサによって得られるところの、光源の高干渉性や単色性が必要とされなくなるという前述の作用を前提として提案されたものである。すなわち、この請求項4の光応用センサにおいては、低干渉光源としてスペクトル幅が0.5nm~100nmの低干渉光源を使用することにより、カー効果や後方レイリー散乱、および光学系からの戻り光の影響を除去することができる。

【0025】なお、ファラデー素子としてファイバを使用した場合には、ファイバの巻き数に応じて、感度およびダイナミックレンジを自由に設定できる。また、光源とファラデー素子との間に、光を円偏光または楕円偏光に変換する偏光手段を挿入して、ファラデー素子に円偏光または楕円偏光を入射させるように構成した場合には、ファラデー素子の直線複屈折の影響を受け難くなる。

【0026】

【実施例】以下には、本発明による光応用センサの複数の実施例を、図1~図5を参照して具体的に説明する。

【0027】[1]第1実施例

[1-1]第1実施例の構成

図1は、本発明による請求項1、2、4の特徴を有する光応用センサの一実施例を示す構成図である。この光応用センサは、まず、低干渉光源として、スペクトル幅(半値全幅)が10nmのスーパーluminescentダイオード(SLD)1aを有しており、このSLD1aから検出器13に至る光学装置は、ファイバ20と各種のマイクロ-opticsにより、一体的に接続されている。すなわち、SLD1aに接続されたファイバ20と検出器13にそれぞれ接続された個別のファイバ20の他端は、ファイバカブラ2aによって一体的に結合さ

れ、このファイバカブラ2aの反対側には、高複屈折ファイバを巻くことによって偏光機能を持たせた偏光子3a、および別のファイバカブラ4aが順次配置され、ファイバ20を介して一体的に接続されている。ファイバカブラ4aの偏光子3aと反対側は2方向に分岐しており、ファイバカブラ4aは、偏光子3aからの直線偏光を2方向に分離するとともに、2方向の分岐から戻される2つの直線偏光を再結合する機能を有しており、本発明の分離手段と結合手段を兼ねた手段に相当する。

【0028】ファイバカブラ4aの2方向の分岐の間には、位相変調子5a、6a、 $\lambda/4$ 板7a、8a、およびファラデー素子としてのファイバ11からなるループ状の光路が形成されている。より詳細には、ファイバカブラ4aの一方の分岐には、磁歪素子にファイバを巻くことによって位相変調機能を持たせた位相変調子5aと、ファイバを巻くことによって一方向の光を他方に対して $\lambda/4$ だけ位相をずらす機能を持たせたファイバ型 $\lambda/4$ 板7aが順次配置され、ファイバ20を介して一体的に接続されている。また、ファイバカブラ4aの他方の分岐には、LiNbO<sub>3</sub>上の導波路においてボックセル効果を利用して導波路の屈折率を変えることにより鋸波形の変調をかける位相変調機能を持たせた位相変調子6aと、ファイバを巻くことによって一方向の光を他方に対して $\lambda/4$ だけ位相をずらす機能を持たせたファイバ型 $\lambda/4$ 板8aが順次配置され、ファイバ20を介して一体的に接続されている。そして、2つのファイバ型 $\lambda/4$ 板7a、8aの間のファイバ20が、被測定電流が流れる導体12の周囲に巻き付けられて、ファラデー素子としてのファイバ11を構成している。

【0029】さらに、検出器13は、ファイバカブラ4aによって再結合された光を検出して、光電変換する機能を有しており、その出力側には信号処理装置14が接続されている。信号処理装置14は、検出器13からの検出出力を受信するとともに、位相変調子5a、6aを駆動制御する機能を有しており、セロダイン方式の信号処理を行うように構成されている。

【0030】[1-2]第1実施例の作用

以上のような構成を有する本実施例の光応用センサにおいて、導体12に流れる被測定電流を検出する際には、次のような動作が行われる。まず、SLD1aから光が発せられると、この光は、SLD1aに接続されたファイバ20に導かれてファイバ20内を伝播し、ファイバカブラ2aを透過後、偏光子3aを透過して直線偏光となる。

【0031】偏光子3aからの直線偏光はファイバカブラ4aで2分割され、一方の分割光は、位相変調子6aによって鋸波形の変調を受け、ファイバ型 $\lambda/4$ 板8aによって円偏光に変換された後、被測定電流の流れる導体12に巻き付けられたファラデー素子としてのファイバ11を通り、被測定電流が誘起する磁界強度に応じて

ファラデー回転する。このようにファラデー回転した円偏光は、ファイバ型入／4板7aによって再び直線偏光に変換され、位相変調子5aによって波形の変調を受けた後、ファイバカブラ4aに再び入射する。

【0032】一方、ファイバカブラ4aからの2つの分割光のうちの残る一方の分割光は、ループ状の光路を前述した分割光と逆回りで通過する。すなわち、残る一方の分割光は、位相変調子5aによって波形の変調を受け、ファイバ型入／4板7aによって円偏光となり、導体12に巻き付けられたファイバ11を通り、被測定電流が誘起する磁界強度に応じてファラデー回転する。このようにファラデー回転した円偏光は、ファイバ型入／4板8aによって再び直線偏光に変換され、位相変調子6aによって鋸波形の変調を受けた後、ファイバカブラ4aに再び入射して、逆回りの分割光と再結合する。

【0033】そして、このようにファイバカブラ4aにおいて再結合した光は、偏光子3aを通り、ファイバカブラ2aで分岐して、検出器13に入射する。この場合、信号処理装置14によって位相変調子6aを駆動制御し、検出器13の検出出力が0となるように鋸波形の周波数を変化させることにより、この鋸波形の周波数に基づいて被測定電流値を計測することができる。具体的には、信号処理装置14において、次のような位相変調子6aの駆動制御および信号処理が行われる。

【0034】すなわち、検出出力（干渉光信号）を*i*とし、*K*を比例定数とすると、干渉光信号*i*は、次の式（1）で表される。

$$\text{【数1】 } i = K \cdot \sin(\Delta\Phi + \Phi_s) \cdots \text{式(1)}$$

ただし、この式（1）において、 $\Delta\Phi$ はサニャック干渉計上のファラデー効果による位相差であり、 $\Phi_s$ は、鋸波形の変調により生じた位相差である。

【0035】この場合、ファラデー効果による位相差 $\Delta\Phi$ は、ファラデー素子のヴェルデ定数を*V*、被測定電流のつくる磁界強度を*H*、ファラデー素子の長さを*L*とすると、次の式（2）で表される。

$$\text{【数2】 } \Delta\Phi = 2VHL \cdots \text{式(2)}$$

ここで、ファラデー素子として、被測定電流*I*が流れる導体に*n*回（*n*≠0）巻き付けたファイバを用いた場合には、ファラデー効果による位相差 $\Delta\Phi$ は、次の式（3）で表される。

$$\text{【数3】 } \Delta\Phi = 2nVLI \cdots \text{式(3)}$$

【0036】一方、時間*t*における鋸波形の位相を $\Phi(t)$ とし、ファイバコイルによる伝播遅延時間を $\tau$ とすると、鋸波形の変調により生じる位相差 $\Phi_s$ は、次の式（4）で表される。

$$\text{【数4】 } \Phi_s = \Phi(t - \tau) - \Phi(t) \cdots \text{式(4)}$$

ここで、位相変調子6aにかかる鋸波形の変調がちょうど位相 $2\pi$ でリターンするように調整されている場合には、鋸波形の変調により生じる位相差 $\Phi_s$ は、次の式（5）で表される。

$$\text{【数5】 } \Phi_s = -2\pi\tau f_s \cdots \text{式(5)}$$

この式（5）において、*f<sub>s</sub>*は、鋸波形の周波数である。

【0037】さらに、検出出力が0となるように、周波数*f<sub>s</sub>*を変化させるために、前記の式（1）が0となる条件を求めると、次の式（6）が得られる。

$$\text{【数6】 } \Delta\Phi + \Phi_s = 0 \cdots \text{式(6)}$$

したがって、この式（6）と、前記の式（3）および式（5）より、次の式（7）が得られる。

$$\text{【0038】}$$

$$\text{【数7】 } I = (\pi\tau) / (nV) \cdot f_s \cdots \text{式(7)}$$

この場合、ファイバの巻き数*n*、ファイバコイルによる伝播遅延時間 $\tau$ 、およびファイバのヴェルデ定数*V*は、ファラデー素子として使用するファイバの素材およびファイバ長で決まる定数であるため、鋸波形の周波数*f<sub>s</sub>*によって被測定電流値*I*を容易に求めることができる。

【0039】以上のように、本実施例においては、ゼロダイン方式の信号処理を行うことによって出力信号を得ることができるため、余弦曲線を示す干渉光出力を正弦曲線に変換して出力信号を得ていた従来センサのように出力信号のうちの利用可能な信号範囲が限定されることはなく、出力信号の広い範囲を利用できる。

【0040】また、本実施例においては、ファイバ20とマイクロプロセッサを使用して、光学装置を一体化しており、従来センサで問題となっていた光の空間伝送部分がなくなっているため、塵埃などの異物が光路を横切ったり光学素子に付着することによる短期的あるいは長期的な出力変動が起こり難くなっている。また、このような光学装置の一体化により、光学素子間での相対的位置ずれが起こり難くなっているため、温度変化や振動に起因する光路のずれによる出力変動が起こり難くなっている。

【0041】さらに、本実施例の干渉系においては、検出する2光波の光路差を従来の干渉系に比べて非常に小さくできるため、光源の高干渉性や単色性が不要となっている。そして、本実施例では、この作用を前提として、スペクトル幅（半値全幅）が10nmという低干渉のSLD1aを使用しているため、カー効果や後方レイリー散乱、および光学系からの戻り光の影響を除去することができる。

【0042】すなわち、本実施例のようなサニャック干渉系による光路差は非常に小さいため、可干渉距離は波長の数倍程度で確保することができ、具体的に、この可干渉距離を保持する光源のスペクトル幅（半値全幅）は100nmのオーダーとなる。ただし、光源のスペクトル幅を余りに大きくすると、ヴェルデ定数を大きく変化させるため、不都合である。また、レーザ光源に最も近い光学素子からの散乱光を考慮して、ミリオーダーの可干渉距離を考えた場合、例えば、中心波長800nmの光においては、スペクトル幅（半値全幅）が1nm以上

の光源が必要となる。これに対して、本実施例で使用している SLD は、10 nm オーダーのスペクトル幅（半値全幅）を持つため、条件を満たしている。

【0043】一方、図2は、光学系の戻り光の有無に対する各レーザ出力電圧波形を示す波形図であり、戻り光の存在によって、レーザ出力および周波数の不安定化が生じることがわかる。この出力変動が鋸波形の周波数に対して速い時間で起こった場合には、制御に支障をきたすことになる。しかしながら、本実施例で使用している10 nm のスペクトル幅に対応する可干渉距離は、光応用センサにおける標準の光路長である数10 m に対して極めて小さいため、戻り光の影響を受けることはほとんどない。

【0044】加えて、本実施例においては、ファラデー素子としてファイバ11を使用しているため、ファイバ11の巻き数に応じて、感度およびダイナミックレンジを自由に設定できるという作用も得られる。また、ファラデー素子であるファイバ11に対して円偏光を入射させているため、ファイバ11の直線複屈折の影響を受け難くなるという作用も得られる。

【0045】[1-3] 第1実施例の効果

以上のように、本実施例の光応用センサにおいては、位相変調子6aによって鋸波形の変調をかけて出力信号を得ることができ、出力信号の広い範囲を利用できるため、出力信号の利用範囲が限定されていた従来センサに比べて、高精度を保ちながら、しかもダイナミックレンジを広くとることができるという効果が得られる。

【0046】また、光学装置の一体化により、空間中の異物の影響や、温度変化、振動による光学素子間の光路ずれなどの影響を格段に低減可能であるため、これらの影響を受けていた従来センサに比べて、測定誤差が小さくなり、測定精度を向上できるという効果が得られる。

【0047】さらに、光源として、スペクトル幅が10 nm という低干渉のSLD 1aを使用することにより、カー効果や後方レイリー散乱、および光学系からの戻り光の影響を除去することができるため、高干渉の光源を使用していた従来センサに比べて、測定誤差がさらに小さくなり、測定精度をさらに向上できるという効果が得られる。

【0048】加えて、本実施例においては、ファラデー素子としてファイバ11を使用し、このファイバ11に円偏光を入射させることにより、感度およびダイナミックレンジを自由に設定でき、ファイバ11の直線複屈折の影響を受け難くなるため、設計の自由度を向上できる上、測定精度をさらに向上できるという効果が得られる。

【0049】[2] 第2実施例

図3は、前記第1実施例の変形例を示す構成図であり、位相変調子として、磁歪素子にファイバを巻いた位相変調子5aを省略し、鋸波形の変調をかける位相変調子6

aのみを使用した実施例であり、これ以外の部分については、前記第1実施例と全く同様に構成されている。このように構成した場合には、前記第1実施例と同様の作用および効果が得られる上、さらに、位相変調子5aを省略した分だけ部品点数を削減でき、構成を簡略化できるという利点がある。

【0050】[3] 第3実施例

図4は、本発明による請求項1~4の全ての特徴を有する光応用センサの一実施例を示す構成図である。この光応用センサは、まず、低干渉光源として、中心波長が通信用の汎用周波数である1300 nm で、スペクトル幅（半値全幅）0.5 nm の高帯域レーザダイオード1bを有しており、この高帯域レーザダイオード1bから検出器13に至る光路は、ファイバ20と、LiNbO<sub>3</sub>板15上に形成された光集積回路とにより、一体的に接続された光学装置として構成されている。

【0051】すなわち、高帯域レーザダイオード1bと検出器13にそれぞれ接続された個別のファイバ20の他端は、LiNbO<sub>3</sub>板15上に配置された個別の導波路21の一端にそれぞれ接続され、これらの導波路21の他端は導波路結合部2bによって結合されている。そして、LiNbO<sub>3</sub>板15上には、この導波路結合部2bと、偏光子3b、および導波路分岐部4bが順次配置され、さらに、この導波路分岐部4bによって形成される2方向の分岐には、位相変調子5bとλ/4板7b、および位相変調子6bとλ/4板8bがそれぞれこの順で配置され、光学的制御部分が構成されている。また、2つのλ/4板7b、8bの他端には、被測定電流が流れる導体12の周囲に巻き付けられたファラデー素子としてのファイバ11の両端が、個別の導波路21を介してそれぞれ接続されている。なお、検出器13や信号処理装置14については、前記第1実施例と同様に構成されている。

【0052】以上のような構成を有する本実施例の光応用センサにおいては、特に、1300 nm と中心波長の長い光源を使用しているため、0.5 nm のスペクトル幅によってミリオーダー以下の可干渉距離を確保することができる。その結果、カー効果、後方レイリー散乱、光学系からの戻り光の影響を受けない干渉系を構成することができる。

【0053】一方、光学装置が、ファイバ20と光集積回路とによって一体化されており、光の空間伝送部分がなくなっているため、塵埃などの異物が光路を横切ったり光学素子に付着することによる短期的あるいは長期的な出力変動が起こり難くなっている。また、このような光学装置の一体化により、光学素子間での相対的位置ずれが起こり難くなっているため、温度変化や振動に起因する光路のずれによる出力変動が起こり難くなっている。加えて、光学素子がファイバ型に限定されないため、高精度の光学素子を自由に使用することがで



きる。

【0054】したがって、本実施例の光応用センサにおいては、前記第1実施例の効果に加えて、さらに、使用する光学素子の選択の幅が広がるため、設計の自由度を向上できるという効果が得られる。

#### 【0055】[4] 第4実施例

図5は、本発明による請求項1の特徴のみを有する光応用センサの一実施例を示す構成図である。この光応用センサは、光源としてレーザダイオード1cを使用しており、2つの位相変調子5、6cのうちの一方の位相変調子6cは、鋸波形の変調をかけるように構成されている。また、信号処理装置14は、前記第1実施例と同様に、検出器13からの検出出力を受信するとともに、2つの位相変調子5、6cを駆動制御する機能を有しており、セロサイン方式の信号処理を行うように構成されている。なお、これ以外の部分については、図6に示した従来センサと全く同様に構成されている。

【0056】以上のような構成を有する本実施例の光応用センサにおいては、前記各実施例のように、光学装置を一体化していないため、光学素子間での異物や光路のずれによる出力変動を低減する作用は得られない。しかしながら、前記各実施例と同様に、セロサイン方式の信号処理を行うことによって出力信号を得ることができるため、出力信号の利用範囲が限定されることはなく、出力信号を広い範囲にわたって利用できる。したがって、従来センサに比べて、高精度を保ちながら、しかもダイナミックレンジを広くとることができるという効果が得られる。

#### 【0057】[5] 他の実施例

なお、本発明は、前記各実施例に限定されるものではなく、さらに多種多様な変形例を実施可能である。まず、ファイバカブラ、偏光子、位相変調子、 $\lambda/4$ 板などの光学素子の具体的な構成は適宜変更可能であり、例えば、偏光子としてフィルム型偏光子を使用することも可能である。また、ファラデー素子もファイバに限定されるものではなく、例えば、バルク型素子を使用して、ファイバ端部や導波路端部にバルク型素子を結合する構成などが可能である。

【0058】一方、低干渉光源のスペクトル幅は、0.5nm~100nmの範囲で適宜選択可能であり、この範囲で選択される限り、カー効果や後方レイリー散乱、および光学系からの戻り光の影響を除去することができ、それによって測定精度を向上できる。また、前記各実施例においては、ファラデー素子であるファイバ11に円偏光を入射させたが、楕円偏光を入射させた場合にも、直線複屈折の影響を受け難くなるという作用が得られる。さらに、ファラデー素子に直線偏光を入射させる構成も可能である。

#### 【0059】

【発明の効果】以上説明したように、本発明において

は、光学装置の構成を改良することにより、従来よりも格段に高精度で広いダイナミックレンジを有する光応用センサを提供することができる。

【0060】すなわち、請求項1に記載の発明においては、位相変調手段によって鋸波形の変調をかけ、セロサイン方式の信号処理を行うことにより、広い範囲にわたって利用可能な出力信号を得ることができる。したがって、高精度で広いダイナミックレンジを有する光応用センサを提供することができる。

【0061】また、請求項2に記載の発明においては、光学装置を一体化することにより、光の空間伝送部分を低減することができる。したがって、空間中の異物の影響や、温度変化、振動による光学素子間の光路ずれなどの影響を格段に低減可能な、高精度の光応用センサを提供することができる。

【0062】さらに、請求項3に記載の発明においては、光学装置のうちの光学的制御部分を光集積回路上で一体化することにより、光の空間伝送部分を低減することができる上、光学素子がファイバ型に限定されないことがない。したがって、空間中の異物の影響や、温度変化、振動による光学素子間の光路ずれなどの影響を格段に低減可能であり、しかも設計の自由度の高い、高精度の光応用センサを提供することができる。

【0063】一方、請求項4に記載の発明においては、低干渉光源を使用することにより、カー効果や後方レイリー散乱、及び光学系からの戻り光の影響を除去可能な、高精度の光応用センサを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光応用センサの第1実施例を示す構成図。

【図2】光学系の戻り光の有無に対する各レーザ出力電圧波形を示す波形図。

【図3】本発明による光応用センサの第2実施例を示す構成図。

【図4】本発明による光応用センサの第3実施例を示す構成図。

【図5】本発明による光応用センサの第4実施例を示す構成図。

【図6】従来の光応用センサの一例を示す構成図。

#### 【符号の説明】

1…光源

1a…スーパーミネセントダイオード(SLD)

1b…高帯域レーザダイオード

1c…レーザダイオード

2…ビームスプリッタ

2a…ファイバカブラ

2b…導波路結合部

3, 3a, 3b…偏光子

4…ビームスプリッタ

4a…ファイバカブラ

13

14

4 b...導波路分岐部

5, 5 a, 5 b, 6, 6 a, 6 b, 6 c...位相変調子

7, 7 a, 7 b, 8, 8 a, 8 b... $\lambda/4$ 板

9, 10...レンズ

11... (ファラデー素子としての) ファイバ

12...導体

13...検出器

14...信号処理装置

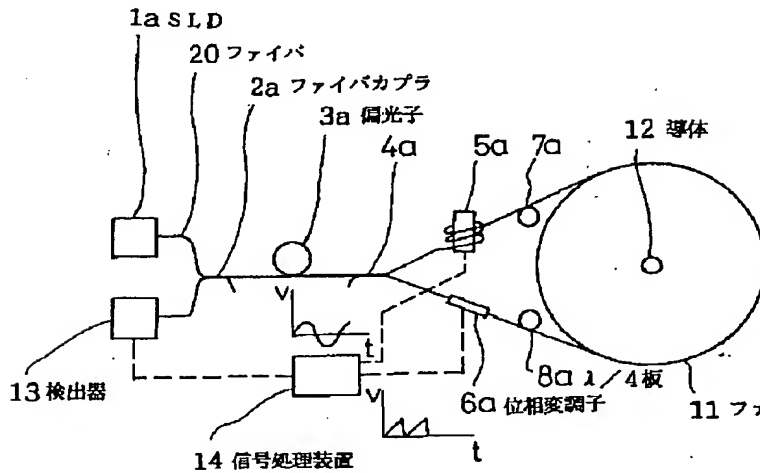
15...LiNbO<sub>3</sub>板

20...ファイバ

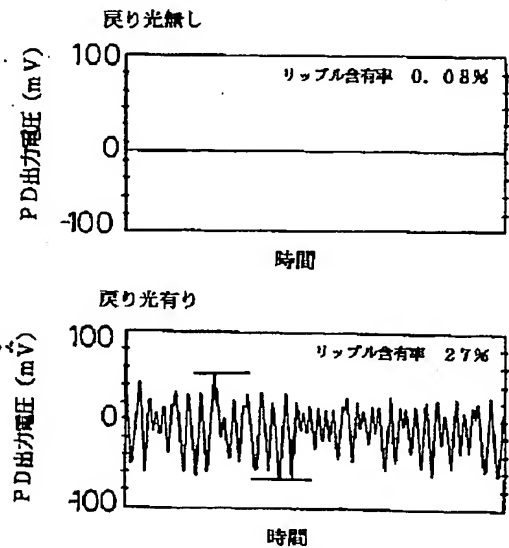
21...導波路

【図 1】

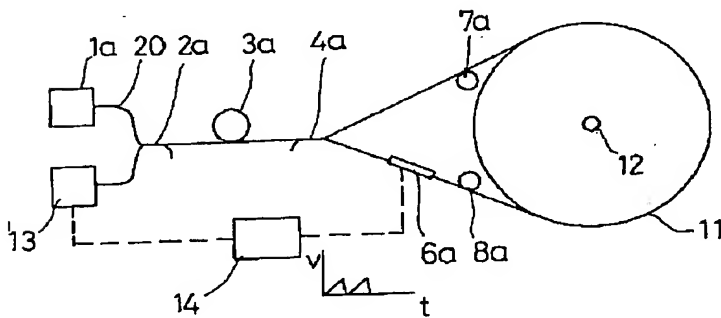
【図 2】



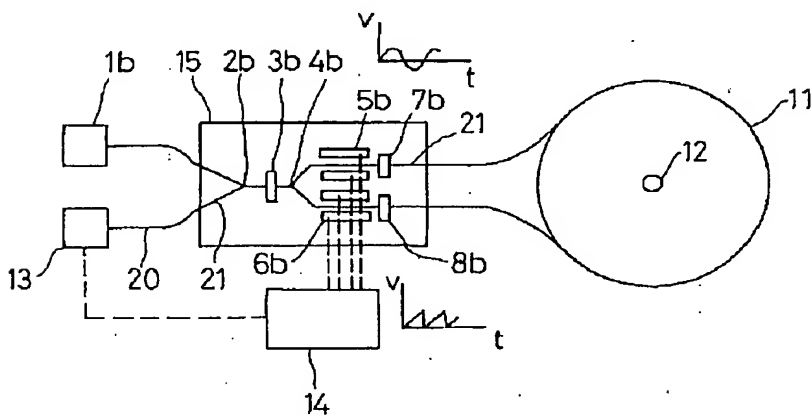
戻り光によるLDのリップル



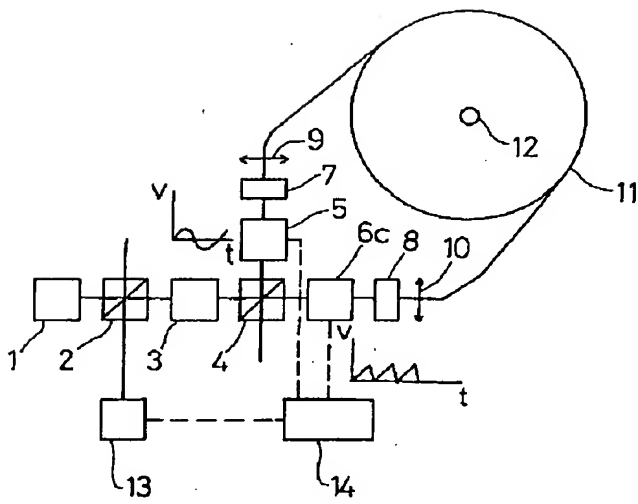
【図 3】



【図 4】



【图 5】



【 図 6 】

